

УДК 621762.22+621.926.55

**Н.Д. ОРЛОВА**, канд. техн. наук, доц.,  
Одесская национальная морская академия, Одесса

## **К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ И КОМПОЗИЦИЙ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА**

У статті викладені результати теоретичних і практичних досліджень з проблем вібраційного подрібнення матеріалів.

В статье изложены результаты теоретических и практических исследований по проблемам вибрационного измельчения материалов.

In article comparison of results of calculation of vibrating viscosity under various theoretical formulas is given. Comparison and with experimental data is spent.

Основной задачей теории вибрационного измельчения является установление зависимости между дисперсностью получаемого продукта, физико-химическими и механическими свойствами обрабатываемого материала, затратами энергии и параметрами вибрационных мельниц.

Для практического использования вибрационных мельниц типа ВУПП-200 [1] важно не только предвидеть технологический результат вибрационного воздействия на различное по своим свойствам сырье, но выбирать оптимальные режимы обработки для материалов с различными физико-механическими свойствами.

Режим работы вибрационных мельниц типа ВУПП-200 определяется различными параметрами (критическим ударным импульсом, частотой вращения вала вибровозбудителя, амплитудой колебаний, угловым ускорением, массой загрузки, размером (набором) мелющих тел) [1, 2 – 5], правильных подбор которых позволяет осуществлять различные технологические процессы для различных материалов на одних и тех же вибрационных машинах.

Различные виды обработок материала осуществляются за счет переменного амплитудно-частотного режима вибрации [5, 6, 7]. Возможность предварительного расчета параметров вибрации позволяет значительно уменьшить энергоёмкость обработки и для определенного типа материалов осуществлять различные технологические процессы на одних и тех же вибрацион-

ных машинах.

Многочисленными опытами [1, 2, 3, 4], было установлено, что вибрационное измельчение осуществляется - за счет удара и истирания мелющего тела об измельчаемую частицу или удара и истирания двух мелющих тел о защемленную между ними частицу. Следовательно, вибрационное измельчение относится к усталостному типу разрушения материалов, при котором выделяют три вида усталостного разрушения – выносливое, упругое, упругопластическое [4].

Теоретически установлено[1,2,3,4], что на выбор параметров измельчения оказывают существенное влияние физические и механические свойства измельчаемого материала. Введем обозначения:  $\sigma_B$  – напряжение при котором тело не разрушается,  $\sigma_{TK}$  – технический предел прочности (на растяжение) измельчаемого материала,  $\sigma_{BK}$  – выносливый предел прочности,  $\sigma_{YK}$  – упругий предел прочности,  $\sigma_{PK}$  – пластический предел прочности. Если  $\sigma_B \leq \sigma \leq \sigma_{YK}$ , то происходит выносливое разрушение;  $\sigma_{YK} \leq \sigma \leq \sigma_{PK}$  – упругое разрушение;  $\sigma_{PK} \leq \sigma \leq \sigma_{TK}$  – упругопластическое разрушение.

Решим задачу определения оптимального набора мелющих тел, для заданного материала. В [1] предложена формула для вычисления радиуса мелющих тел  $R_K$  ( $R_K \geq r_K$ ) для измельчения частиц максимального радиуса  $r_K$ :

$$R_K = \sqrt[4]{\frac{3^5 2^9 \pi^2 \sigma_{TK}^5 (E_K^2 (1 - \mu_0^2) + E_0^2 (1 - \mu_K^2))}{5^8 \rho_K^3 (A\omega)^6}} \cdot r_K \quad (1)$$

где  $\rho_K$  – плотность измельчаемого материала;  $E_0, E_K$  – модуль упругости Юнга для мелющих тел (стальные шары  $E_0 = 20 \cdot 10^{11}$  н / м<sup>2</sup>) и измельчаемого материала;  $\mu_0, \mu_K$  – коэффициент Пуассона для мелющих тел ( $\mu_0 = 0,28$ ) и измельчаемого материала;  $A = 2 \cdot 10^{-3}$  м,  $\omega = 157$  сек<sup>-1</sup> – амплитуда и частота вибрации.

В формуле (1) индекс – 0 относится к материалу, из которого изготовлены мелющие тела; индекс – К относится к обрабатываемому материалу. Все расчеты ведутся в системе СИ. Для вычисления средневзвешенных характеристик композиций можно воспользоваться формулами

$$E^k = \sum_{j=1}^k E_j P_j \quad (2)$$

$$\mu^k = \sum_{j=1}^k \mu_j P_j \quad (3)$$

где  $E^k, \mu^k$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона композиций;  
 $E_j, \mu_j$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона составляющих композицию;  
 $P_j$  – содержание составляющих в композиции.

Для удобства расчетов формулу (1) можно записать в виде:

$$R_K = \sqrt[4]{3.14 \frac{\sigma_{TK}^5 (E_K^2 (1 - \mu_0^2) + E_0^2 (1 - \mu_K^2))}{\rho_K^3 (A\omega)^6 E_K^2 E_0^2}} \cdot r_K \quad (4)$$

Отметим, что формулой (4) можно воспользоваться и для расчета размеров мелющих тел отвечающих определенному типу измельчения выносливому, упругому и упругопластическому разрушению. Для этого достаточно в формуле (4) вместо технического предела прочности  $\sigma_{TK}$  записать одно из значений  $\sigma_{BK}$  – выносливый предел прочности,  $\sigma_{YK}$  – упругий предел прочности, или  $\sigma_{PK}$  – пластический предел прочности. Различие между этими видами разрушения чисто теоретическое и на практике один вид разрушения переходит в другой. Для расчетов оптимальных технологий измельчения и доизмельчения различных типов металлических порошков (ВУПП-200) были выбраны представительные материалы: ниобий – высокотвердый, алюминий – пластический, никель – вязкопластический, кремний – хрупкий.

Технические характеристики материалов взяты из справочной литературы [8] и представлены в виде табл. 1.

$E_0 = 20 \cdot 10^{11} \text{ Н / м}^2$ ;  $\mu_0 = 0,28$  -модуль Юнга и коэффициент Пуассона для мелющих тел;  $A = 2.35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $\omega = 157 \text{ сек}^{-1}$  – амплитуда и частота вибрации.

Расчетные данные для указанных материалов представлены в виде табл. 2 – 5. Выбор оптимального набора мелющих тел при вибрационном измельчении подсчитан по формуле [3]  $R_{jK} = 0.285 R_{j-1}$  для промежуточной укладки шаров (мелющих тел).

Таблица 1

## Технические характеристики материалов

	$\rho_k \cdot 10^3$	$E_k \cdot 10^{10}$	$\mu_k$	$\sigma_{TK} \cdot 10^7$	$\sigma_{PK} \cdot 10^7$	$\sigma_{YK} \cdot 10^7$
Алюминий	2,7	7,1	0,34	9	6	3
Никель	8,8	22	0,3	40	20	10
Кремний	2,35	17	0,21	9	–	3
Ниобий	8,57	11	0,39	60	45	20

Таблица 2

## Расчетные данные для материалов

алюминий	$r_k$ max размер измельчаемой частицы	$R_k$ (мм) радиус мельющего тела	$\varnothing$ (мм) – диаметр мельющего тела
	$1.4 \cdot 10^{-4}$	39	78
Рекомендуемый набор мельющих тел: $\varnothing 78; 22; 6; 2; 0.5$ .			

Таблица 3

## Расчетные данные для материалов

кремний	$r_k$ max размер измельчаемой частицы	$R_k$ (мм) радиус мельющего тела	$\varnothing$ (мм) – диаметр мельющего тела
	$1.4 \cdot 10^{-4}$	29	58
Рекомендуемый набор мельющих тел: $\varnothing 58; 17; 5; 1.5$ .			

Таблица 4

## Расчетные данные для материалов

ниобий	$r_k$ max размер измельчаемой частицы	$R_k$ (мм) радиус мельющего тела	$\varnothing$ (мм) – диаметр мельющего тела
	$2 \cdot 10^{-5}$	20	40
Рекомендуемый набор мельющих тел: $\varnothing 40; 12; 3; 1$ .			

Таблица 5

## Расчетные данные для материалов

никель	$r_k$ max размер измельчаемой частицы	$R_k$ (мм) радиус мельющего тела	$\varnothing$ (мм) – диаметр мельющего тела
	$2 \cdot 10^{-5}$	9	18
Рекомендуемый набор мельющих тел: $\varnothing 18; 5; 2; 0.5$ .			

При таких наборах мельющих тел в барабане вибрационной мельницы имеем наиболее плотную структуру с максимальным весом измельчаемых тел в единице объёма.

**Выводы.** Полученные теоретические результаты были подтверждены практически при измельчении металлических порошков и их композиций на вибрационных машинах типа ВУПП-200.

**Список литературы:** 1. Овчинников П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова Думка, 1983. – 271 с. 2. Орлова Н.Д. О некоторых оценках результатов вибрационного измельчения материалов / Н.Д. Орлова // Вісник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 31. – С. 120 – 127. 3. Овчинников П.Ф. Влияние характера движения на укладку шаров во вращающейся емкости / П.Ф. Овчинников, Н.Д. Орлова // Доклады АН УССР. – 1979. – № 1. – С. 31 – 36. 4. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов / В.С. Иванова. – М: Металлургиздат, 1963. – 272 с. 5. Орлова Н.Д. Роль ударного и истирающего воздействия мелющих тел при вибрационном измельчении металлических порошков / Н.Д. Орлова // Сучасне судноплавство і морська освіта: міжнар. наук.-техн. конф.: матеріали. – 2004. – Ч. 2. – С. 171 – 174. 6. Орлова Н.Д. Результаты вибрационного измельчения сплава никель-алюминий-титан / Н.Д. Орлова // Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологии виброизмельчения металлических порошков для коррозионно-стойких и антифрикционных покрытий», № 01860062335. – 1988. – С. 33 – 37. 7. Орлова Н.Д. Вибрационное измельчение стружки бронзы / Н.Д. Орлова, Н.В. Светельщук // Деп. ЦНИИЭМ цветных металлов 9.04.90, № 1893-цм 8. Францевич И.И. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов / И.И. Францевич, Ф.Ф. Воронов, С.А. Бакута. – К.: Наукова Думка, 1982. – 356 с.

*Надійшла до редколегії 25.07.11*

УДК 531-531.3

**А.В. АНЦИФЕРОВ**, канд. техн. наук, доц.

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск

## **ВИБРОУДАРНАЯ СИСТЕМА С УПРУГИМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

Проведено дослідження віброударної системи, що моделює процес руйнування шару матеріалу у вертикальному вібраційному млині. У вихідні рівняння уведено час ударної взаємодії. Наведені вирази, що пов'язують даний параметр з механічними властивостями шару. Урахування часу удару дає можливість уточнити окремі параметри на 20 – 30 %.

Проведены исследования виброударной системы, которая моделирует процесс разрушения слоя материала в вертикальной вибрационной мельнице. В исходные уравнения введено время ударного взаимодействия. Приведены выражения, что связывают данный параметр с механическими свойствами слоя. Учет времени удара дает возможность уточнить отдельные параметры на 20 – 30 %.